第34卷 第2期
1991年5月
昆 虫 学 报
ACTA ENTOMOLOGICA SINICA
Vol. 34, No. 2
May, 1991

胡氏边白蚁消化系统的微细构造*

卢 宝 廉
(中国科学院动物研究所，北京 100080)

摘要 胡氏边白蚁 *Marginitermes hubbardi* (Banks) 消化系统可分为前肠、中肠及后肠三大段。前肠包括葡萄状唾腺、口、咽喉、食道、前胃及贲门瓣；从贲门瓣开始到马氏管着生处为止这一段为中肠；后肠则分为葫芦形胃、结肠、直肠和肛门。其消化系统的特点：在前、后肠有几丁内膜、细胞层上还有一层微绒毛；上皮细胞底膜内陷很深，折叠中夹着许多线粒体；中肠围食膜表面有几丁层一直延伸到后肠；后肠前端膨大的葫芦胃中共生了很多种细菌及原生动物，共生的细菌、动物分泌纤维素酶帮助它消化木质纤维。

关键词 胡氏边白蚁 消化系统 微细构造

胡氏边白蚁 *Marginitermes hubbardi*(Banks)是在美国西南部热带地区分布较广、为害较严重的一种白蚁，体长 0.6—0.7 厘米，个体大，食量也大。生长在亚历桑那 Arizona 州特有的大仙人掌 *Saguaro* 经常被它蛀空而死，同时对各种木质建筑也是很大的威胁。为了寻找更好的防治方法，故研究了它们消化系统的微细构造。

材 料 和 方 法

白蚁采自美国亚历桑那州图森市郊区大仙人掌已枯死的木质秆及根中；大量采集后带回实验室饲养，随用随取。先将白蚁投入 4% 戊二醛中固定 1 小时，取出解剖，分段后再用戊二醛固定 4 小时，磷酸缓冲液洗，后用 1% 锇酸固定 2 小时，缓冲液洗，经系列丙酮脱水，Spurr 包埋，MT-5000 型及 LKB-V 型超薄切片机切片，双染，日立 H-300 及 H-500 型透射电镜观察、拍照。作扫描电镜的标本，经戊二醛及锇酸双固定后，系列脱水，临界点干燥，粒子溅射金后用 ISI DS-130 扫描电镜观察，加速电压 10kV，用 Polaroid 4×5 片拍照。

观 察 结 果

胡氏边白蚁若虫的消化系统，分为前、中、后三大段(图 1)。前段即前肠，包括口腔、咽喉、食道、前胃、贲门瓣。咽喉左右两侧各有一条唾液腺，腺泡如 4 大串葡萄，(图 1)，有唾液腺管通至口腔；中段由贲门瓣至马氏管着生处为止，即中肠；后段从马氏管着生处起至肛门止为后肠。后肠又可分为三段：其前段膨大如葫芦形，称为胃，往下为细长的结肠，后面由六个垫组成的粗大的直肠，最末端为肛门。

现就几段的构造分述如下：

本文于 1988 年 4 月收到。
* Prof. W. L. Nutting, Dr. Dave Bently 提供白蚁、电镜及切片等条件。黄复生教授鉴定学名。特此致谢。

前肠(图版I:1、2，图版II:7) 由单层柱状上皮细胞组成(图版II:7)，肠管几丁内壁有小刺(图版I:1,图版II:7-Sp)，几丁内壁形成一条条纵行脊，每条脊上横向排列约有2—3个突起，突起重叠如鳞片状，小刺着生在几丁内壁突起上，每个突起如手掌，上有8—10个小刺(图版I:1右上图)，小刺尖向肠后方，以防止食物逆流。柱状上皮细胞上方有一层浓密的微绒毛(图版II:7-Mv)，这使细胞的吸收面大大增加，柱状上皮细胞核N为椭圆形，胞质内有线粒体、内质网、糖原粒、空泡等，细胞层下有清晰的底膜，有的底膜双层折叠并内陷很深，底膜外为强大的肌肉层(Mu)，分为纵肌及横肌，肌肉层的厚度比细胞层还厚，纵肌明显可见肌微丝、明带、暗带、线粒体及T管。

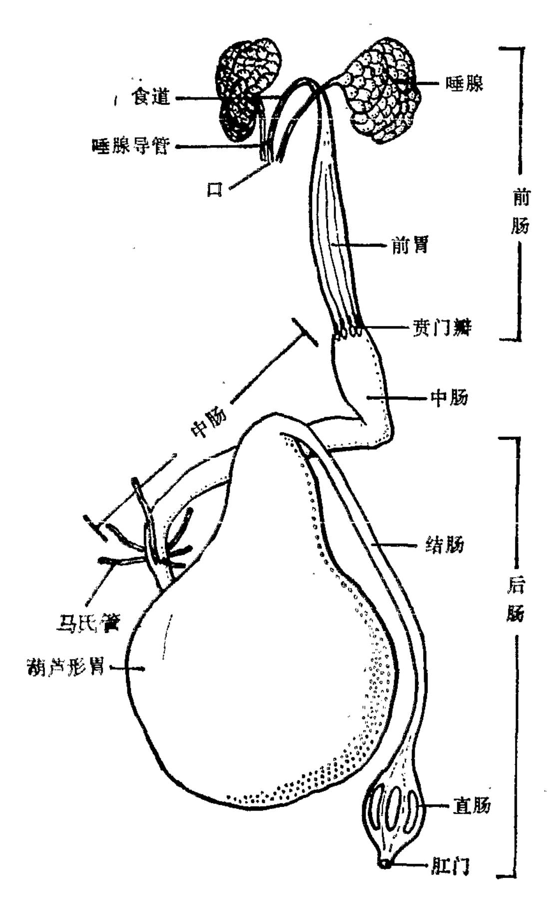


图1 胡氏边白蚁消化系统示意图

贲门瓣(图版I:2、6) 位于前、中肠交界处，剖开看内腔由12个突起组成，12个突起按形态可分为4组，每组又分为3种类型：

第一种(图版I:2-a)为长柄突起，后方膨大为椭圆形盘，盘上长有树枝状凸起及小刺。

第二种(图版I:2-b)突起上有三条纵行脊，中间一条脊上左右还有横的凸起。

第三种(图版I:2-c)突起脊较光滑，基部有一大刺(箭头→)，突起的下部有一堆密集丛生的小刺。

三种类型的突起组成一圆圈，使贲门瓣处狭窄而富有弹性，调节食物进入中肠的速度。从超薄切片上观察，突起的上皮细胞层上有带刺的几丁内膜，上皮层下为基膜及稀松的结缔组织，再外为肌肉层。

中肠(图版I:3，图版 II:10、11) 由内胚层形成的中肠，内壁表面有很长的微绒毛(Mv)，在上皮细胞表面形成一层"刷状缘"，使中肠大大增加了吸收面，微绒毛横切面成六角形点阵排列，微绒毛周围有糖萼。中肠肠壁由柱状上皮细胞及再生细胞两种细胞组成(图版II:10、11-Ep)，细胞界限清晰，细胞间的联接可见桥粒连接(D)及间隙连接两种，细胞核圆形，胞质内有线粒体(M)、溶酶体(Ly)、醣元粒(G)、空泡(V)，粗面内质网平行排列，当分泌盛期时很多，底膜(Bm)可折叠内陷很深且多，到达细胞上方。

围食膜(图版II:10-Ptm) 是中肠肠壁细胞或前段分泌的一种单层或多层的物质，白蚁的围食膜表面有很厚的几丁质(cu)，它可以保护没有几丁内膜的内壁，把食入的木屑

渣包围起来，以免擦伤肠壁。围食膜很厚，用胃蛋白酶处理它，结果变成一完整的网状的膜，证明围食膜中含有蛋白质。

后肠（图版 I：4、5，图版 II：8、9、12）前段为膨大如葫芦形的胃，称为 Paunch（意为胖肚子），壁很薄，单层柱状上皮细胞，细胞层表面有微绒毛（Mv），几丁内膜内陷很多，弯弯曲曲存在于细胞内，细胞层下有底膜，底膜外有一层环肌一层纵肌，细胞周围有很多微气管。葫芦胃内有一层很厚的围食膜包围着食入的木屑及共生的原生动物（图版 II：8-p）。如将葫芦胃剖开，其中共生的原生动物及细菌离心后其体积占若虫虫体湿重的 1/3，可见共生物之多。将它们暴露在空气中或有氧环境中，它们很快就死亡。我们的切片中见到大量的棒状、杆状、弧形的细菌，属革兰氏阴性及阳性菌，还有个体较大的鞭毛虫类。后肠的末段为直肠垫（图版 I：4，5），用扫描电镜观察直肠垫为六条（图版 I：4a—f），平行排列，垫的横切面为半圆形，内壁的内膜表面有一层几丁层（cu），折叠成横向的沟，沟内陷很深，如直肠内充满粪便时它可以变薄变粗，粪便排空后就收缩形成很深的内折几丁内膜，内膜为纵行的三条，由两条细长的内膜带相隔开，左右带距宽，中间带较窄；内膜下为单层细胞（Ep），细胞表面有短微绒毛（Mv），核（N）大、不规则形，胞质内有线粒体（M）、内质网、溶酶体、空泡、醣元粒等，细胞外为底膜，最外为肌肉层。图版 II：12 可见内折的双层膜中包围有大小不等的线粒体（M），线粒体内膜的脊横向排列或呈弯曲形，还可见到细胞间空隙（Intercellular space, Is），这些都使吸收面扩大了很多倍。

总 结 与 讨 论

1. 微绒毛：一般昆虫的消化系统前、后肠由外胚层内陷而成，故肠内壁表面有几丁内膜及小刺而无微绒毛，只有中肠因由内胚层形成才具有微绒毛。白蚁则很特别，其前肠有几丁内膜、小刺及微绒毛，后肠有几丁内膜、微绒毛而内膜上无小刺（图版 II：8），中肠微绒毛 Noirot（1972）称它为刷状缘，在细胞层表面，以增大肠的吸收面。前肠为了多吸收利用食物中的水分及无机盐类，后肠则为了将即要排出的粪便水分吸干，由于直肠垫为六个，故最后干粪粒为六轮形。底膜内折很深，甚至折叠到达细胞上方，这些都是为了生理功能而适应形成的。

2. 围食膜：白蚁由于取食的是植物，尤其是坚硬的木材，为了不让木屑损伤肠壁，其围食膜表面有一层几丁质层（图版 II：10-Ptm），围食膜的基本组成部分是纤维质的网状结构，网状结构中充满蛋白质，用蛋白酶处理后即呈网状，网状结构由三组相互成 60° 角的平行纤维质细丝形成对称的六边形，也可能有两组细丝相互形成直角或其他角度的中间型排列；围食膜的另一种组成成分是一种无定形的薄膜，充塞在网状结构的间隙中或复盖在网状结构之上。白蚁的围食膜由中肠上皮细胞分泌产生，无定形薄膜，密而厚，表面的几丁层也较其他种昆虫的厚，电镜下电子束不易穿透，拍照显得颜色很深，围食膜亦存在于后肠葫芦胃等处，将共生的原生动物及细菌包围住。围食膜为一超滤器，各种消化酶及消化产物均能自由渗透。

3. 共生：白蚁本身不能消化木质纤维，靠后肠内大量的微生物（图版 II：8-P）与它共生。Bloodgood（1975）报道有 5 种原生动物，Noirot, C. 等（1969，1977），Leleng 等（1980）曾研究过肠内共生的微生物。我们的切片中见到了革兰氏阴性、革兰氏阳性细菌及

鞭毛虫等,它们数量很大,帮助白蚁消化纤维素和利用纤维素的产物。

参 考 文 献

卢宝廉、甘雅玲 1982 昆虫中肠的超微结构。中国电镜学会第二次学术会议论文汇编。158 页。广州。

刘玉素、卢宝廉 1955 东亚飞蝗 *Locusta migratoria menilensis* Meyen 消化系统的解剖和组织构造。昆虫学报 5(3): 245—60。

Bloodgood, R. A. 1975 Ultrastructure of the attachment of pyrsonympha to the hindgut wall of *Reticulitermes tibialis*. *J. Insect physiology*, 21: 391—9.

Czolij, R., M. Slaytor, P. C. Veivers & R. W. O'Brien 1984 Gut morphology of *Mastotermes darwiniensis* Froggatt (Isoptera: Mastotermitidae). *Internat. J. Ins. Morph. & Embryol.* 13(5—6): 337—56.

Grimstone, A. V. & Klug, A. 1966 The fine structure of the centriolar apparatus and associated structures in the complex flagellates *Trichonympha* and *Pseudirichonympha*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London.* 250: 215—42.

Leleng, P. To., Lynn Margulis, David Chase & Nutting, W. L. 1980 The symbiotic microbial community of the Sonoran desert termite: *Pterotermes occidentis*. *Biosystem*, 13(1980): 109—37.

Mukerji, D. & Raychaudhuri, S. 1943 On the anatomy of the alimentary system of the termite *Termes redemanni* Wasmann. *Indian J. Entomol.* 5: 59—88.

Noirot, C. & C. Noirot-Timothee 1969 The digestive system. In "Biology of Termites". (K. Krishna and F. M. Weesner, eds). Vol. 1. p. 49—85, Academic Press, N. Y. & London.

——— 1972 The fine structure of the brush border of the midgut in insects. *J. Microsc.* (*Paris*) 13(1): 85—96.

——— 1977 Fine structure of the rectum in termites (Isoptera): A comparative study. *Tissue cell.* 9(4): 693—710.

Satir, P. & Fong, L. 1972 Insect cell junctions. *J. Cell Biology.* 55: 2270.

FINE STRUCTURE OF THE DIGESTIVE SYSTEM OF *MARGINITERMES HUBBARDI* (BANKS)

Lu Bao-lian

(*Institute of Zoology, Academia Sinica, Beijing* 100080)

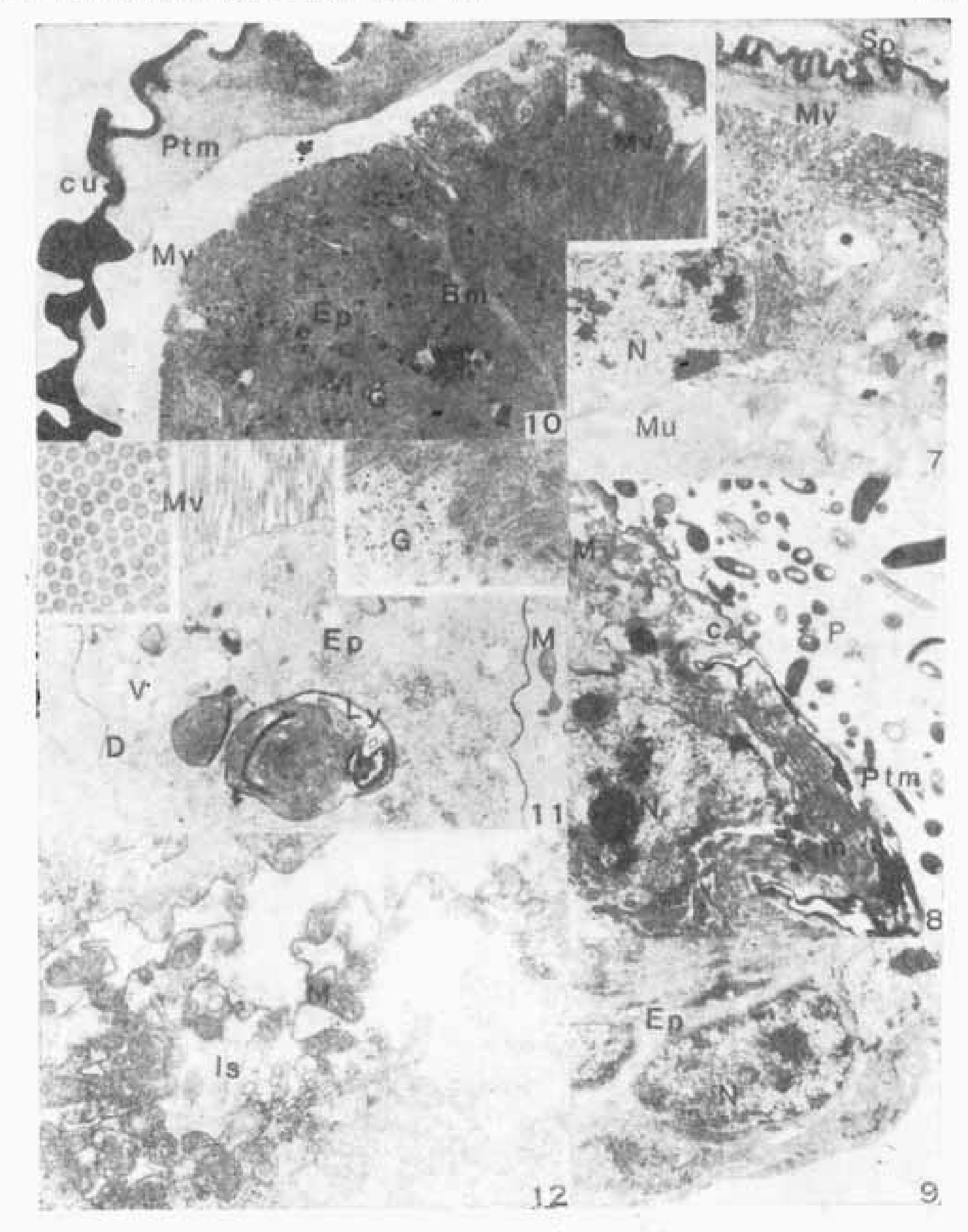
The termite *Marginitermes hubbardi* (Banks) was collected at the countryside of Tucson, USA, and kept in the laboratory. The fine structure of the digestive system was studied with transmission and scanning electron microscopes according the conventional technique of electron microscopy. It was seen that the foregut possessed a thick intima with longitudinal ridges composing spiny scale-like projections. The epithelial cells possess a layer of dense microvilli beneath the intima. The cardiac valves are situated between the foregut and the midgut and composed of twelve projections of three types and organized into four groups. The midgut possesses typical columnar epithelial cells with long microvilli pointing to the lumen which are arranged in a hexagonal pattern when viewed above. The peritrophic membrane is thick and possesses electronic dense inner projections. The anterior portion of the hindgut is enlarged to form the paunch which contains a large quantity of microorganisms to digest cellulose in the food. It has a thin wall and the epithelial cells also possess microvilli beneath the intima. The rectum has six rectal pads and the epithelial cells in the section are rich in mitochondria and basal plasma membrane infoldings, assuring the function of reabsorption.

Key words *Marginitermes hubbardi* (Banks)——digestive system——fine structure



扫描电镜照片

1. 白蚁前肠示纵褶上的小刺　×9000，右上　×24800
2. 贲门瓣上的三种突起(a、b、c)　×420
3. 中肠内壁的细胞表面，微绒毛(Mv)周围有很多分泌物　×9120
4. 直肠垫中部横切示六个垫(a—f)，c 垫横倒下来示内膜三条带　×180
5. c 垫局部放大示内壁折叠　×13200
6. 贲门瓣上 a 种突起放大　×966



透射电镜照片

7.白蚁前肠　左上图为微绒毛　×11200
8.后肠及共生细菌　×14000
9.后肠上皮细胞　×7000
10 中肠及围食膜　×20000
11.中肠及微绒毛　×10000，　左上图为微绒毛横断面，右上图为糖元粒及粗面内质网
12 后肠折叠双层膜及线粒体　×20000